

SIMULAÇÃO VIRTUAL DE GEOMETRIA MOLECULAR NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM QUÍMICA

VIRTUAL SIMULATION OF MOLECULAR GEOMETRY IN HIGH SCHOOL: A PROPOSAL FOR MEANINGFUL LEARNING IN CHEMISTRY

Renata Andrade Manfio¹; Marcelo Maia Cirino²

Recebido: junho/2024 - Aprovado: agosto/2025

RESUMO: Este trabalho apresenta os resultados de uma Sequência Didática realizada nas aulas de Química, com estudantes do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública do interior do estado de São Paulo, com o objetivo de avaliar a ocorrência da ancoragem efetiva entre o novo conhecimento e seus conhecimentos prévios, avaliando desta forma, novas possibilidades de aprendizagem significativa, segundo Ausubel. Consistiu de aulas práticas e teóricas, em sala de aula e no laboratório de informática, com o uso do simulador virtual Geometria Molecular, disponível na plataforma *Physics Education Technology (PhET)*. A partir das análises dos questionários aplicados, verificamos que o objetivo proposto pela Sequência Didática foi plenamente alcançado, pois 100% dos alunos conseguiram realizar as duas tarefas propostas sozinhos e sem dificuldades, demonstrando terem fortalecido o subsunçor formas geométricas, dando a ele novo significado, com maior riqueza de detalhes e conceitos.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia. Ensino. Aprendizagem. Geometria Molecular.

ABSTRACT: This work presents the results of a Didactic Sequence carried out in Chemistry classes, with first year high school students from a public school in the interior of the state of São Paulo, with the objective of evaluating the occurrence of effective anchoring between new knowledge and their prior knowledge, thus evaluating new possibilities for meaningful learning, according to Ausubel. It consisted of practical and theoretical classes, in the classroom and in the computer laboratory, using the virtual simulator Molecular Geometry, available on the Physics Education Technology platform. (*PhET*). From the analysis of the questionnaires applied, we verified that the objective proposed by the Didactic Sequence was fully achieved, as 100% of the students were able to carry out the two proposed tasks alone and without difficulties, demonstrating that they had strengthened the underlying geometric shapes, giving it new meaning, with greater detail and concepts.

KEYWORDS: Technology. Teaching. Learning. Molecular geometry.

- 1 ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1507-7848> - Doutora - Universidade Estadual de Londrina (UEL). Professora Mestre de Ensino Médio e Técnico – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS), Rua Maura Aparecida Amaro Romão, s/n, Água do Jacu, 19880-000, Cândido Mota, São Paulo, Brasil. E-mail: renata.manfio@etec.sp.gov.br.
- 2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5377-382X> - Doutor - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Professor Doutor Associado – Universidade Estadual de Londrina (UEL), Rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380 - Campus Universitário, 86057-970, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: mmcirino@uel.br.





1. Introdução

A sociedade contemporânea está cada vez mais informatizada e globalizada. Smartphones, tablets e computadores tomam um papel de destaque na vida de todos e principalmente dos mais jovens. Desta forma, se torna cada vez mais difícil pensar na prática educativa sem a integração com estes recursos tecnológicos.

É sabido que a maior parte dos alunos não demonstra grande interesse pela área de exatas. Aliás, a Química enfrenta um grande problema que é a falta de “materialidade” de grande parte do conteúdo apresentado em sala de aula. Quando adentramos no universo “invisível” dos átomos, elétrons, prótons e nêutrons, ou quando abordamos assuntos como geometria molecular, modelos atômicos, entre outros, notamos uma grande dificuldade dos alunos em compreender os conteúdos estudados.

Os professores relatam grande dificuldade em expor os conteúdos na sala de aula utilizando como instrumentos a lousa, o giz e os livros didáticos. Sem a interação necessária entre aluno e professor, na maioria das vezes o conteúdo acaba sendo transmitido por repetição de resolução de exercícios, sem significado algum para o aluno, que acaba sem compreender o fenômeno estudado.

A invasão da tecnologia em nosso dia a dia tem promovido uma verdadeira revolução social e cultural e a parcela da sociedade que mais vivencia essa revolução social são os jovens, na maioria deles em idade escolar. Essa mudança na forma de pensar, viver e se comunicar tem uma influência direta na escola, visto que o conhecimento ali adquirido está situado para além de seus muros.

A fala da maioria dos alunos do Ensino Médio é que não gostam de Química, pois além de não conseguirem compreender os fenômenos e modelos apresentados, não veem uma relação do conteúdo estudado com o seu cotidiano. Muitas vezes, os alunos relatam que as aulas são ministradas de maneira tradicional, com o uso apenas da lousa, giz e livro didático.

A maioria dos conteúdos no ensino de Química são muito abstratos e por isso se torna necessário que o professor trabalhe de forma diferenciada tornando as aulas mais dinâmicas e atrativas, despertando nos alunos uma maior curiosidade.

No ensino da geometria molecular, por exemplo, o que acaba ocorrendo é a memorização por parte dos alunos das moléculas mais utilizadas e sua geometria, através de modelos prontos apresentados pelos livros didáticos. Muitas vezes o professor acaba sendo um mero transmissor de uma informação que não terá nenhum significado para os estudantes.

Nos últimos anos, o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de Ciências tem se consolidado como uma ferramenta valiosa para aumentar o engajamento dos alunos e facilitar o aprendizado de conceitos abstratos. A utilização de simuladores, como o *PhET (Physics Education Technology)*, é uma das abordagens mais eficazes para transformar o processo de ensino-aprendizagem em áreas como Física, Química e Biologia.

Diversos estudos recentes têm demonstrado o impacto positivo de simuladores virtuais no ensino de Ciências. Duncan *et al.* (2018) investigaram o uso de simuladores de Física no ensino de conceitos



relacionados à termodinâmica e concluíram que as simulações podem aumentar significativamente a compreensão dos alunos, permitindo-lhes explorar fenômenos de forma interativa e visual. Essa abordagem é especialmente útil para alunos que enfrentam dificuldades em visualizar processos dinâmicos e complexos.

De maneira semelhante, Kozma e Russel (2017) apontaram que o uso de simuladores no ensino de Química melhora a compreensão dos alunos sobre conceitos moleculares e reações químicas. Os simuladores permitem que os estudantes visualizem as interações atômicas e moleculares de forma tridimensional, tornando o aprendizado mais concreto e menos abstrato.

Outro estudo relevante de Hew *et al.* (2020) investigou como os simuladores *PhET* foram usados em várias escolas para o ensino de tópicos de Química e Física. A pesquisa indicou que, ao utilizar os simuladores, os alunos não apenas melhoraram sua compreensão dos conceitos, mas também desenvolveram habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico. Os simuladores oferecem aos alunos a oportunidade de experimentar e modificar variáveis em um ambiente controlado, o que contribui para um aprendizado mais profundo.

Ainda, Alonso *et al.* (2021) sugeriram que os simuladores podem ser particularmente eficazes quando utilizados em combinação com estratégias de ensino interativas e colaborativas. No contexto da geometria molecular, a interação com modelos tridimensionais permite que os alunos compreendam melhor a forma e a estrutura das moléculas, o que, segundo os autores, resulta em uma aprendizagem significativa, conforme proposto por Ausubel.

Além disso, é importante destacar que a literatura recente também aborda a integração dos simuladores com outras ferramentas digitais, como plataformas de colaboração online e recursos multimídia, para criar ambientes de aprendizagem mais dinâmicos e envolventes (Bayer *et al.*, 2022). Esses estudos enfatizam o papel dos professores como facilitadores, ajudando os alunos a refletirem sobre suas experiências e descobertas durante a interação com as tecnologias.

O *Physics Education Technology (PhET)* é uma iniciativa da Universidade do Colorado, cujo objetivo é auxiliar professores de ciências (Física, Química, e Biologia) e Matemática por meio de um pacote de simulações. Esta Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) é disponibilizada na Internet gratuitamente, pode ser executada de modo remoto ou ser baixada e instalada nos computadores locais. Tanto o uso quanto a instalação são simples e fáceis, podendo ser executado pelos professores de Química nos laboratórios de informática das escolas.

No mundo moderno, as Novas Tecnologias de Informação e Comunicação (NTIC), como os simuladores *PhET*, são capazes de tornar o ensino de Química mais interessante e fazer com que o aluno fique curioso pelo desconhecido.

Sendo assim, o presente trabalho propõe a aplicação do *PhET* para o ensino de Geometria Molecular com alunos do 1º ano do Ensino Médio e verificação de sua possível eficácia como moderador no processo da aprendizagem significativa. Espera-se também, que esta pesquisa possa contribuir potencialmente para a melhoria do trabalho docente na disciplina de Química, por meio de novas possibilidades de abordagem.



2. Aprendizagem Significativa – Ausubel

A concepção de ensino e aprendizagem segue, para Ausubel, na linha oposta à dos behavioristas. Para ele, aprender significativamente é ampliar e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental e com isso ser capaz de relacionar e acessar novos conteúdos (MOREIRA, 2012).

Segundo Ausubel (1982), num processo de aprendizagem significativa é necessário que inicialmente se identifiquem os conceitos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos, pois deve haver uma interação entre os conceitos prévios e as novas informações a serem armazenadas. Já na aprendizagem mecânica, segundo Ausubel, são aquelas em que há pouca ou nenhuma interação entre as novas informações e os conceitos prévios dos alunos.

Ausubel (2002) diferencia a aprendizagem significativa da aprendizagem mecânica devido à alteração das informações adquiridas e dos subsunçores pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz:

É importante reconhecer-se que a aprendizagem significativa não implica que as novas informações formem um tipo de ligação simples com os elementos preexistentes na estrutura cognitiva. Pelo contrário, só na aprendizagem por memorização ocorre uma ligação simples, arbitrária e não integradora com a estrutura cognitiva preexistente. Na aprendizagem significativa, o mesmo processo de aquisição de informações resulta numa alteração quer das informações recentemente adquiridas, quer do aspecto especificamente relevante da estrutura cognitiva, à qual estão ligadas as novas informações (AUSUBEL, 2002, p. 03).

De acordo com Moreira (2012), na aprendizagem significativa, as ideias interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com o conhecimento que o aprendiz possui. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé-da-letra, enquanto não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

A este conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, David Ausubel (1982) chamava de subsunçor ou ideia-âncora. Subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do aprendiz e que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto.

[...] Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e (2) que a estrutura cognitiva particular do aprendiz contenha ideias ancoradas relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material (AUSUBEL, 2002, p. 243).

No ensino de Geometria Molecular, por exemplo, que ocorre, normalmente, no primeiro ano do Ensino Médio, o aluno já conhece o conteúdo geometria espacial (formas geométricas), sendo este um importante conhecimento prévio que funcionará como subsunçor. Quando lhe forem apresentadas as geometrias moleculares estudadas em Química, seja em uma aula teórica, por recepção, ou por



descobrimto em uma aula prática, utilizando balas de goma ou balões, ou até mesmo com o uso de um moderno software de simulação, este novo conhecimento dará um novo significado ao conhecimento antigo, que ficará mais elaborado na estrutura cognitiva do aluno.

A construção dos primeiros subsunçores se dá ainda na infância, por meio de processos de inferência, abstração, discriminação, descobrimto, representação, envolvidos em sucessivos encontros do sujeito com instâncias de objetos, eventos, conceitos. Na fase pré-escolar, a criança aprende cada vez mais em função dos subsunçores já construídos e a mediação da professora(o) passa a ser uma negociação de significados, aceitos e não aceitos no contexto de um determinado corpo de conhecimentos (MOREIRA, 2012).

Citando novamente o conteúdo de Geometria Molecular, observamos que o subsunçor Formas Geométricas, visto em matemática ainda no Ensino Fundamental, será reelaborado, tomando um novo significado, com maior riqueza de detalhes, de conceitos novos, levando em conta princípios de atração e repulsão eletrostática, regra do octeto, fórmulas moleculares estruturais. Deste modo, o aluno incorporará ao subsunçor Formas Geométricas outros significados. A aprendizagem que mais ocorre na escola é a aprendizagem mecânica, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após; a famosa “decoreba”. No entanto, a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não constituem uma dicotomia: estão ao longo de um mesmo contínuo. A passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural e nem automática (MOREIRA, 2011).

Determinados processos de ensino-aprendizagem situar-se-ão em distintas posições nesse contínuo dependendo, por exemplo, do nível de escolaridade em que se está trabalhando. No ensino médio e superior predomina fortemente a aprendizagem receptiva. Mesmo que o ensino seja centrado no aluno como se defende hoje, a aprendizagem continuará sendo receptiva. Ensino centrado no aluno não é sinônimo de aprendizagem por descoberta. Aprendizagem por descoberta não leva necessariamente à aprendizagem significativa. Aprendizagem receptiva não é o mesmo que aprendizagem mecânica. É preciso ter cuidado com certas associações e falsas dicotomias e aprender a trabalhar na “zona cinza” (MOREIRA, 2012, p.14).

A estrutura cognitiva do aprendiz se organiza em níveis hierárquicos de abstração de seus conteúdos. Segundo Ausubel (1982), conceitos potencialmente significativos ficam subordinados aos subsunçores, ideias mais abstratas e gerais. Este tipo de aprendizagem é a mais comum e dá-se o nome de aprendizagem significativa subordinada.

A aprendizagem superordenada ocorre quando um novo conceito reestrutura conceitos já existentes, por ser mais generalizador. Nesta forma de aprendizagem significativa, o novo conceito é mais geral e inclusivo que os subsunçores (AUSUBEL, 1982).

A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos (MOREIRA, 2012).



O processo de assimilação sequencial de novos significados, a partir de sucessivas exposições a novos materiais potencialmente significativos, resulta na diferenciação progressiva de conceitos ou proposições, no conseqüente aperfeiçoamento dos significados e numa potencialidade melhorada para se fornecer ancoragem a aprendizagens significativas posteriores.

Na reconciliação integradora, ou integrativa, processo que ocorre simultaneamente ao processo de diferenciação progressiva. Consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações. Na reconciliação integrativa ocorre uma reorganização de conceitos aprendidos, gerando novos significados e relacionando conceitos entre si. Esta aprendizagem ressoa com a aprendizagem superordenada, aquela onde o novo conceito reestrutura conceitos já existentes, por ser mais generalizador. Segundo Ausubel, o conhecimento prévio relevante adquire novo significado.

Quando aprendemos de maneira significativa temos que progressivamente diferenciar significados dos novos conhecimentos adquiridos a fim de perceber diferenças entre eles, mas é preciso também proceder a reconciliação integradora. Se apenas diferenciarmos cada vez mais os significados, acabaremos por perceber tudo diferente. Se somente integrarmos os significados indefinidamente, terminaremos percebendo tudo igual. Os dois processos são simultâneos e necessários à construção cognitiva, mas parecem ocorrer com intensidades distintas. A diferenciação progressiva está mais relacionada à aprendizagem significativa subordinada, que é mais comum, e a reconciliação integradora tem mais a ver com a aprendizagem significativa superordenada que ocorre com menos frequência (Moreira, 2012, p.7).

3. Zabala – Sequência Didática

De acordo com Lima (2018), a fim de despertar maior interesse dos alunos é importante que o professor conduza a aula de forma agradável e diferenciada. Para que eles tenham interesse em aprender e compreendam o conteúdo ensinado, o professor pode utilizar a Sequência Didática como uma estratégia de ensino.

O objetivo de uma Sequência Didática deve ser a de atender as necessidades do aluno. É uma estratégia traçada pelo professor, passo a passo com a finalidade de organizar e orientar o processo de ensino.

Muitas vezes a Sequência Didática é confundida com plano de aula, semanário e até projetos. A palavra “sequência” significa “ação de seguir”, por isso, Sequências Didáticas são “etapas continuadas” ou “conjuntos de atividades”, de um tema, que têm o objetivo de ensinar um conteúdo, passo a passo.

De acordo com Zabala, Sequência Didática é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p.18).

Existem diversos tipos de Sequência Didática (Zabala, 1998), não sendo possível afirmar que uma seja melhor ou pior que outra. O que importa é o reconhecimento das possibilidades e carências de



cada uma, a fim de compreender quais se adaptam melhor às necessidades educacionais de cada aluno, de acordo com o tipo de conteúdo (conceitual, procedimental ou atitudinal).

Toda prática pedagógica exige uma organização metodológica. Antes dessa organização Zabala (1998, p. 21) afirma que é necessário ter em mente duas perguntas chave: “Para que educar? Para que ensinar?”. O autor denomina essas perguntas como capitais que justificam a prática educativa.

A partir desses exemplos, o autor acrescenta que o objetivo da Sequência Didática deve ser de:

[...] introduzir nas diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora de nossa atuação nas aulas, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos meninos e meninas (ZABALA, 1998, p.54).

O professor, ao planejar uma Sequência Didática, deve considerar as relações interativas entre professor/aluno, aluno/aluno e as influências dos conteúdos nessas relações. Para isso é necessária uma organização dos conteúdos, a organização do tempo e espaço, a organização dos recursos didáticos e avaliação (LIMA, 2018).

4. Metodologia

No primeiro dia do desenvolvimento da sequência didática, foi desenvolvida uma atividade prática em sala de aula, a fim de verificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação à forma das moléculas: em grupos, os alunos ilustraram em folhas de sulfite, como eles imaginariam ser as formas de algumas moléculas indicadas pela professora. As moléculas solicitadas pela professora foram HCl, CS₂, H₂O, SO₂, BF₃, NH₃ e CH₄.

Como a sala contava com 40 alunos, foi solicitado aos estudantes que se sentassem em grupos de 10 pessoas. Eles ficaram livres para escolherem seus parceiros de grupo. Foi feita esta solicitação para que fosse possível uma maior atenção aos grupos, visto que a sala era numerosa e não havia professor auxiliar.

Sentados em grupos, foi-lhes entregue sete folhas de papel sulfite e solicitado que fizessem, em cada folha, a ilustração de todas as moléculas apresentadas na lousa. Houve uma certa polêmica e resistência por parte dos alunos, em fazer as ilustrações. Eles alegaram que ainda não tinha estudado aquele conteúdo e que por isso não poderiam fazer as ilustrações sozinhos. Após explicar que o objetivo era esse mesmo, verificar qual era o conhecimento preliminar deles a respeito daquele assunto, os alunos mobilizaram interesse e demonstraram satisfação em realizar a atividade solicitada.

No segundo dia do desenvolvimento da sequência didática, foi realizada uma atividade prática, em sala de aula, com balas de goma, palitos de dente e bexigas para a introdução de novos conceitos de geometria molecular. Os alunos sentaram-se no mesmo grupo da aula anterior e com o auxílio da professora montaram os modelos das mesmas moléculas, primeiramente utilizando jujubas e palitinhos de dente, posteriormente utilizando bexigas.



No terceiro dia do desenvolvimento da sequência didática, foi aplicado aos alunos um pré-questionário com três questões com o objetivo de avaliar o conhecimento prévio quanto ao tema “geometria espacial”; três questões com o objetivo de avaliar as concepções e interesses dos alunos sobre o tema “geometria molecular”; e uma questão com o objetivo de avaliar a aprendizagem dos alunos sobre o tema “geometria molecular” após a atividade prática realizada na aula anterior.

No quarto dia do desenvolvimento da sequência didática, foi realizada uma aula prática no laboratório de informática da escola, utilizando o simulador virtual “Geometria Molecular”. Nesta prática, os alunos construíram moléculas reais propostas pela professora. Esta atividade prática teve como objetivo avaliar as evidências da aprendizagem significativa a respeito do conteúdo de Geometria Molecular.

No laboratório de informática, os alunos utilizaram o simulador virtual Geometria Molecular da plataforma *PhET* para construir as moléculas sugeridas pela professora. Cada aluno foi instruído a selecionar átomos, ligá-los de acordo com os modelos geométricos solicitados e observar os efeitos da repulsão dos pares de elétrons não ligantes. A professora acompanhou o processo, esclarecendo dúvidas e destacando as relações entre os ângulos de ligação e as geometrias moleculares. A interação com o simulador permitiu que os alunos visualizassem as moléculas em 3D e relacionassem as formas geométricas com as propriedades químicas.

No quinto dia do desenvolvimento da sequência didática, foram aplicados dois questionários. O primeiro questionário (pós-questionário) avaliou a aprendizagem significativa dos alunos sobre geometria molecular. Este questionário, mais complexo, foi organizado em duas tarefas. A primeira tarefa com quatro casos, sendo eles: moléculas com dois átomos, moléculas com três átomos, moléculas com quatro átomos e moléculas com cinco átomos. A segunda tarefa trabalhou com moléculas reais apresentadas pelo simulador.

O segundo questionário aplicado neste dia teve como objetivo avaliar as dificuldades dos alunos e a aceitação dos mesmos, em relação ao uso do simulador virtual “Geometria Molecular”. Os questionários foram respondidos no laboratório de informática e com o auxílio do simulador virtual Geometria Molecular.

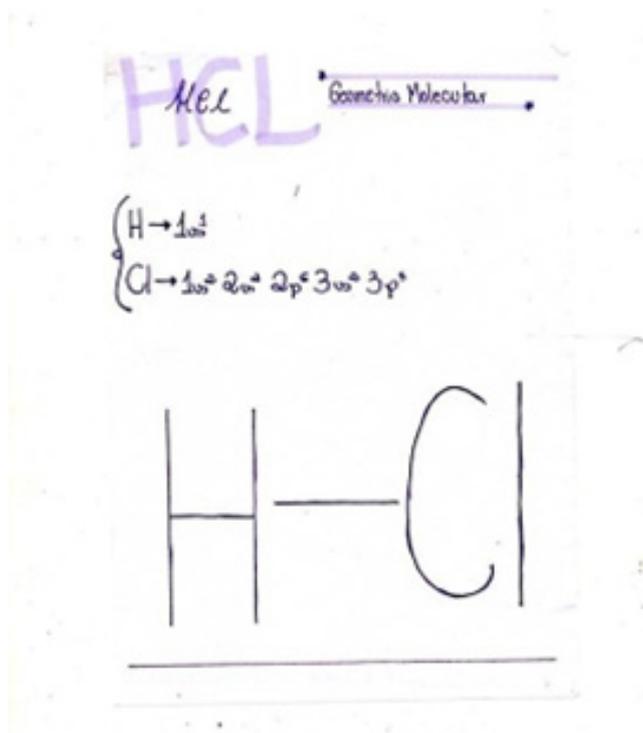
5. Resultados e Discussões

Analisando as ilustrações feitas pelo grupo 1, observou-se uma ligação muito forte sobre como eles imaginariam ser o formato das moléculas e Geometria Espacial, estudada na matéria de matemática no Ensino Fundamental.

Por se tratar de uma molécula diatômica, os alunos representaram a molécula de HCl de forma linear (figura 1).



Figura 01: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de HCl



Fonte: Ilustração feita pelos alunos

As moléculas de CS_2 , H_2O e SO_2 foram representadas pelos alunos num formato triangular (figuras, 2,3 e 4). As três moléculas são triatômicas.

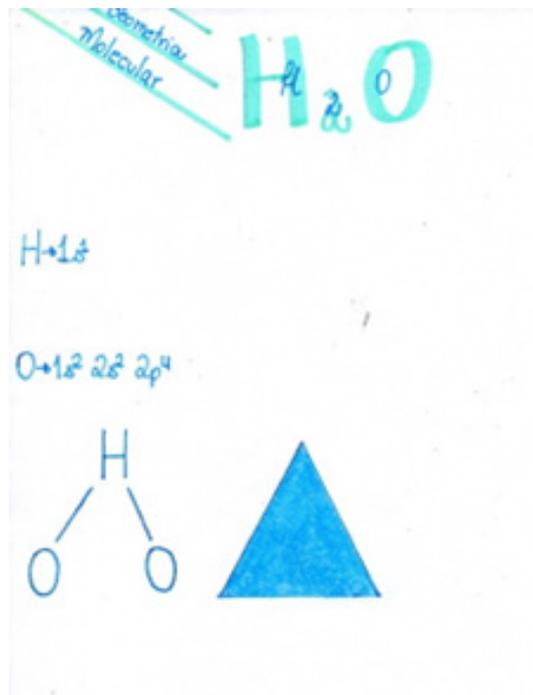
Figura 02: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de CS_2



Fonte: Ilustração feita pelos alunos

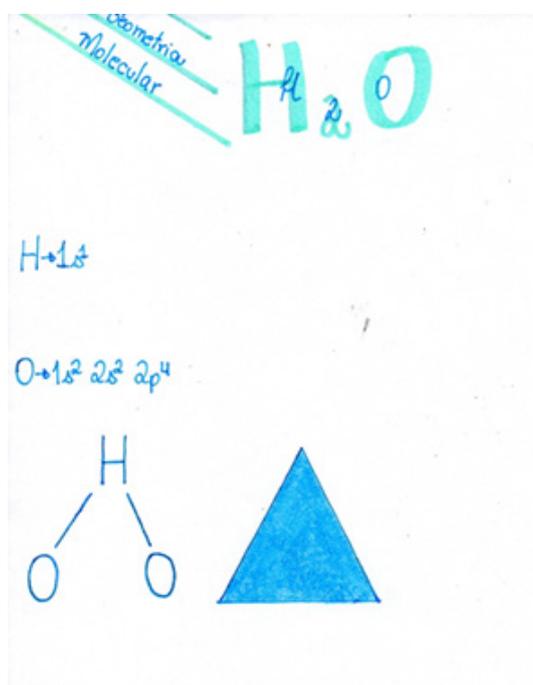


Figura 03: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de H_2O .



Fonte: Ilustração feita pelos alunos

Figura 04: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de SO_2 .



Fonte: Ilustração feita pelos alunos

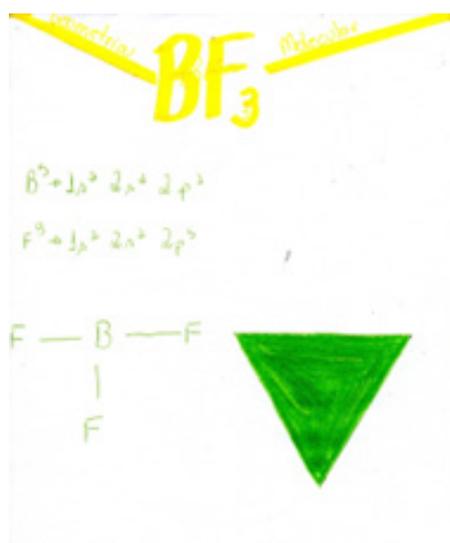
Analisando as ilustrações das três moléculas podemos observar que os alunos não representaram os pares de elétrons não ligantes dos átomos centrais e representaram todas as moléculas de forma planar. Isso nos leva a acreditar que eles não tinham, até aquele momento, conhecimento sobre a repulsão causada



pela nuvem eletrônica dos pares de elétrons livres. Na verdade, eles representaram as moléculas com a figura de um triângulo, pelo fato de a molécula ser triatômica, sendo que cada vértice do triângulo representaria um átomo.

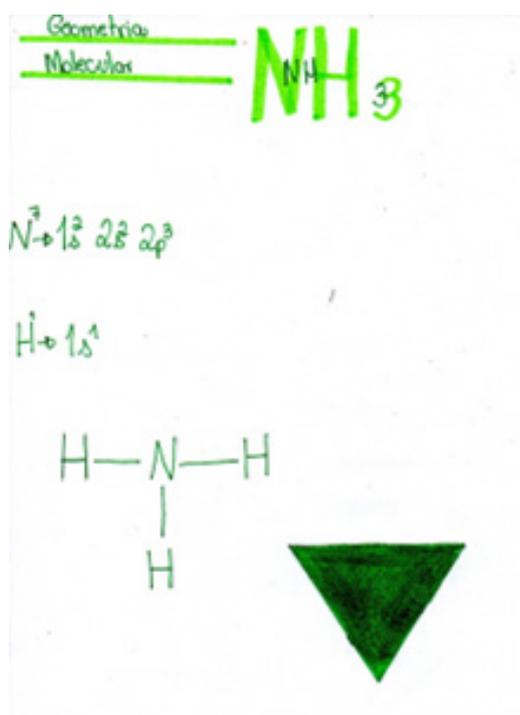
As moléculas de BF_3 e NH_3 possuem 4 átomos e foram representadas também no formato de um triângulo, onde cada “ponta” do triângulo representaria um átomo ligante (figuras 5 e 6).

Figura 05: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de BF_3 .



Fonte: Ilustração feita pelos alunos

Figura 06: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de NH_3 .

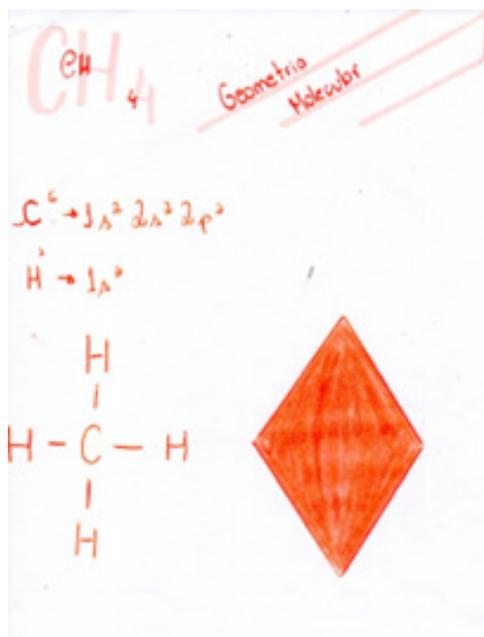


Fonte: Ilustração feita pelos alunos



A molécula de CH_4 foi representada no formato de um losango, o carbono estaria no centro e cada átomo de hidrogênio seriam os vértices da figura geométrica (figura 7). Podemos observar que nesta representação os alunos não levaram em conta o fato de a molécula ter geometria tridimensional e a representaram de forma planar.

Figura 07: Ilustração feita pelo grupo 1 de como os alunos acreditavam ser a molécula de CH_4 .



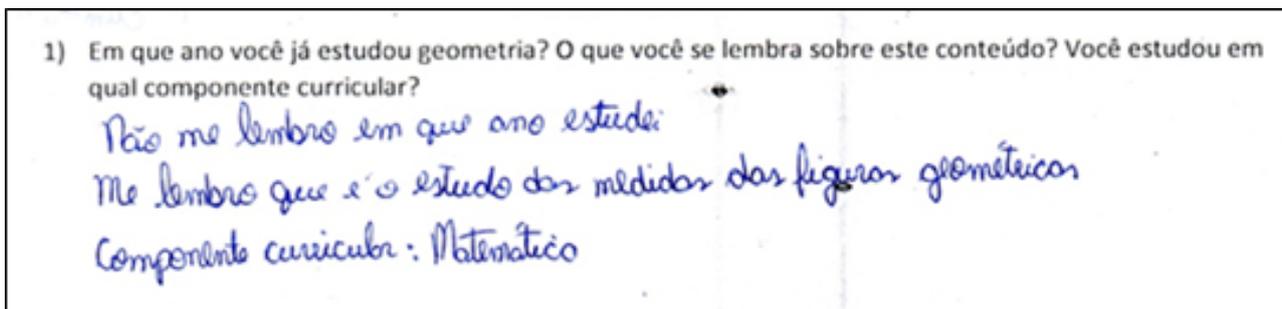
Fonte: Ilustração feita pelos alunos

No terceiro dia da sequência didática, foi aplicado aos alunos um pré-questionário. Dez alunos responderam este questionário composto por sete questões. Esse questionário foi aplicado após a aula com balas de goma e bexigas.

Todos os alunos, com exceção do E2 (figura 8) e do E10 (figura 9), se lembraram de ter estudado geometria espacial no Ensino Fundamental, em Matemática.

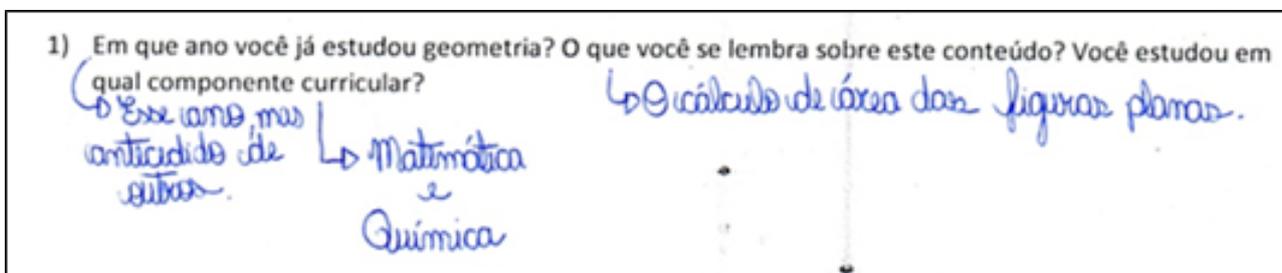


Figura 08: Resposta do E2 a questão 1 do pré-questionário.



Fonte: Resposta do E2.

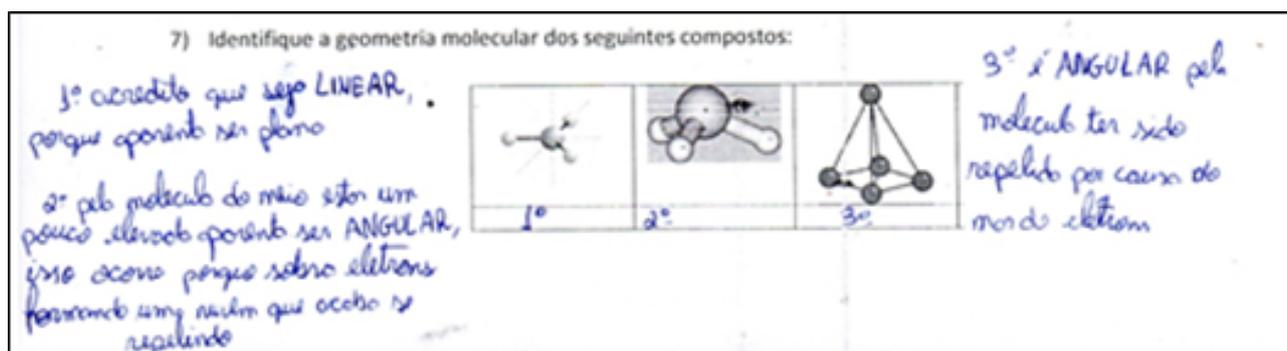
Figura 09: Resposta do E10 a questão 1 do pré-questionário.



Fonte: Resposta do E10.

Em relação ao conhecimento adquirido sobre geometria molecular na aula prática com balas de goma e palitos de dente, somente um aluno (E2) mostrou ter assimilado esse conhecimento e enriquecido o subsunçor (figura 10).

Figura 10: Resposta do E2 a questão 7 do pré-questionário.



Fonte: Resposta do E2.

A resposta do E2 foi a mais rica, citou as nuvens eletrônicas. O estudante não deixou claro em sua resposta se as nuvens seriam das ligações ou dos pares de elétrons isolados do átomo central, porém foi o único a citá-la, demonstrando ter enriquecido o subsunçor formas geométricas com conhecimento sobre a existência destas forças de atração e repulsão.



No quinto e último dia da sequência didática, após a aula prática com o simulador virtual, foi aplicado um pós-questionário a fim de avaliar a aprendizagem significativa dos alunos sobre geometria molecular. Dez alunos responderam o questionário no laboratório de informática e com o auxílio do simulador virtual Geometria Molecular.

Levantamos quatro categorias, com base nas unitarizações das respostas dos alunos, a partir dos questionários propostos ao longo de toda a Sequência Didática. A primeira categoria foi realizada com base nas respostas dadas pelos estudantes à Questão 02 do pré-questionário, aplicado após a aula prática, em sala de aula, de construção de moléculas com jujubas e palitos. Esta categoria refere-se aos alunos que demonstraram possuir domínio mediante o conceito Formas Geométricas (subsunçor).

A segunda categoria foi realizada com base nas respostas dos estudantes à Questão 04 do pré-questionário. Trata dos alunos que integram os subsunçores na direção do modelo aceito, após a aula prática realizada em sala de aula com jujubas e palitos. A terceira categoria é dos alunos com dificuldade de visualização tridimensional, por meio da análise das respostas deles à Questão 07 do pré-questionário. A quarta categoria abrange os alunos que enriqueceram o subsunçor Formas Geométricas, durante a aula prática realizada no laboratório de informática, com o uso do simulador virtual Geometria Molecular. Foram analisadas as respostas dos alunos das tarefas 1 e 2 do pós-questionário.

Quadro 1 – Categorias elaboradas mediante as análises das respostas dos alunos ao pós-questionário aplicado

Categorias	Justificativas
Domínio a respeito do conceito formas geométricas (subsunçor).	Os estudantes E2, E4, E6, E7, E8 citaram corretamente o nome de todas as figuras geométricas apresentadas na questão 02 do pré-questionário. As respostas dos estudantes a esta questão mostram que eles dominam o conceito <i>formas geométricas</i> , estudado em Matemática, no Ensino Fundamental, pois a maioria respondeu corretamente o nome de todas as figuras apresentadas. Portanto, o mesmo poderá ser usado como subsunçor e servir de ancoradouro para os novos conhecimentos que serão apresentados aos alunos mediante a Geometria Molecular.
Integração dos subsunçores ao modelo.	Analisando as respostas da questão 4 do pré-questionário aplicado aos alunos, somente o E2 demonstrou ter o conhecimento que existem forças de atração e repulsão dos pares de elétrons livres do átomo central e que estas nuvens eletrônicas influenciam nos ângulos de ligação dos átomos em uma molécula. O estudante demonstrou ter enriquecido o subsunçor formas geométricas. Integrou a aprendizagem significativa subordinada, caracterizada pela diferenciação progressiva e a aprendizagem significativa superordenada, presente na reconciliação integradora, consequentemente respondendo o esperado.
Dificuldade de visualização tridimensional.	Os alunos E1, E2, E3, E4, E5, E7, E8, E9 e E10 demonstraram possuir dificuldades em visualizar tridimensionalmente as moléculas apresentadas na questão 7 do pré-questionário. Nesta questão, eles deveriam indicar a Geometria Molecular das moléculas, porém os estudantes somente responderam indicando se a molécula apresentada era plana ou angular.



<p>Ampliação do subsunçor formas geométricas após o uso do simulador virtual.</p>	<p>Analisando as respostas dos alunos com o uso do software de simulação virtual, podemos observar que todos os estudantes dominaram as ferramentas de construção de moléculas do software. Não apresentaram dificuldades e construíram sozinhos todas as moléculas, mostrando domínio pelo conteúdo de geometria molecular. Os estudantes enriqueceram o subsunçor <i>formas geométricas</i> com conhecimento a respeito de repulsão dos pares eletrônicos não ligantes e ângulos de ligação. Por recepção, houve a aprendizagem significativa representacional, conceitual e subordinada, pois os alunos aprenderam de forma visual (construindo as moléculas em 3D), ampliando seus conceitos e estabelecendo uma relação entre os nomes das geometrias moleculares e as formas das moléculas apresentadas em 3D pelo software de simulação.</p> <p>A aprendizagem foi subordinada, pois progressivamente os alunos mostraram ter enriquecido o subsunçor formas geométricas, que era mais amplo e geral o tornando-o mais específico e inclusivo, com conceitos de ângulos de ligação, nuvens eletrônicas, repulsão, etc. Quando comparamos a ideia que os estudantes possuíam de como seria o formato das moléculas com as ilustrações apresentadas por eles na primeira aula e como eles construíram as moléculas com o software de simulação na última aula da Sequência Didática, observamos que a assimilação foi mediante a Diferenciação Progressiva, pois foi apresentado, inicialmente aos estudantes, um conceito mais amplo e geral, baseado no conhecimento prévio que eles possuíam até aquele momento, no caso, geometria espacial do Ensino Fundamental (subsunçor), e aos poucos essa ideia pré-existente foi enriquecida, modificada, tornando-se mais específica. Os alunos conseguiram diferenciar moléculas planas de angulares.</p>
---	--

Fonte: Quadro elaborado pela autora baseado nos estudantes da análise.

6. Consideração Finais

Analisando as ilustrações feitas pelo grupo observou-se uma ligação muito forte de como eles imaginariam ser o formato das moléculas com a geometria espacial, estudada em Matemática no Ensino Fundamental. Essa ligação é observada devido às ilustrações das moléculas serem todas em formatos de figuras geométricas planas, tais como triângulo e losango. Podemos observar que houve uma preocupação da parte deles, em todas as ilustrações, em utilizar a figura geométrica de acordo com o número de ligantes, de forma que cada ligante seria um vértice da figura.

Observamos que os estudantes, até esse momento da sequência didática, não possuíam conhecimentos sobre a repulsão causada pelas nuvens eletrônicas associadas aos pares de elétrons livres não ligantes. Todas as representações foram feitas de forma planar. Na verdade, a escolha das figuras geométricas foi realizada com base no número de ligantes, moléculas com 3 ligantes foram representadas por um triângulo, moléculas com 4 ligantes foram representadas por um losango.

Após a aula prática realizada no laboratório de informática, com o uso do simulador virtual Geometria Molecular, no quinto e último dia da sequência didática, os alunos foram avaliados por meio de dois questionários, respondidos com o auxílio do simulador.

Mediante as respostas dos alunos, podemos verificar que o objetivo proposto pela Sequência Didática foi plenamente alcançado, pois 100% dos alunos conseguiram realizar as duas tarefas propostas, sozinhos e sem dificuldades e demonstraram ter enriquecido o subsunçor formas geométricas, visto em Matemática no Ensino Fundamental, dando a ele novo significado, com maior riqueza de detalhes e



conceitos. Por recepção, houve a aprendizagem significativa representacional conceitual e subordinada, pois os alunos aprenderam de forma visual (construindo as moléculas em 3D), ampliando seus conceitos e estabelecendo uma relação entre os nomes das geometrias moleculares e as formas das moléculas apresentadas em 3D pelo software de simulação.

A aprendizagem foi subordinada, pois progressivamente os alunos mostraram ter enriquecido o subsunçor formas geométricas, que era mais amplo e geral, tornando-o mais específico e inclusivo, com conceitos de ângulos de ligação, nuvens eletrônicas, repulsão, etc.

Quando comparamos a ideia que os estudantes possuíam de como seria o formato das moléculas com as ilustrações apresentadas por eles na primeira aula e como eles construíram as moléculas com o software de simulação na última aula da Sequência Didática, observamos que a assimilação foi através da Diferenciação Progressiva, pois foi apresentado inicialmente aos estudantes um conceito mais amplo e geral, baseado no conhecimento prévio que eles possuíam até aquele momento, no caso, geometria espacial do Ensino Fundamental (subsunçor). Aos poucos essa ideia pré-existente foi enriquecida, modificada, tornando-se mais específica. Os alunos conseguiram diferenciar moléculas planas de angulares.

O trabalho proposto, explorando a dificuldade dos estudantes em visualizar os conteúdos sobre Geometria Molecular, mostrou uma grande aceitação por parte dos alunos às TICs, próprias do seu universo particular.

Embora a pesquisa tenha mostrado resultados promissores, existem algumas limitações que devem ser discutidas. O estudo foi realizado com uma amostra pequena de 10 alunos, o que pode não ser representativo de todas as realidades educacionais. Além disso, a pesquisa foi conduzida em uma escola pública com recursos tecnológicos limitados, o que pode impactar a forma como os simuladores foram utilizados e a receptividade dos alunos a essa abordagem. Futuras investigações podem ampliar a amostra e explorar a eficácia dos simuladores em diferentes contextos e com diferentes faixas etárias.

O uso de simuladores, como o *PhET*, pode ser uma ferramenta poderosa para o ensino de temas desafiadores, como a geometria molecular, ao permitir que os alunos visualizem e manipulem as moléculas em três dimensões. Com base nos resultados obtidos neste estudo, recomenda-se que os professores considerem integrar os simuladores em suas aulas, especialmente para ensinar conceitos que envolvem a compreensão de modelos invisíveis, como átomos e moléculas.

O uso de tecnologias de simulação também oferece uma oportunidade para personalizar o aprendizado, permitindo que os alunos explorem o conteúdo no seu próprio ritmo e conforme suas necessidades. Assim, os simuladores podem ser vistos como uma forma de tornar o aprendizado mais interativo e engajador, o que pode contribuir para a melhoria do desempenho dos alunos e para o desenvolvimento de habilidades críticas no campo da Ciência.

Buscamos assim, contribuir com os estudos a respeito da utilização das TICs em situações reais de sala de aula. Em particular, procurando encontrar as relações possíveis entre as dimensões de aprendizagem significativa e a utilização dessas tecnologias, sempre tendo em vista o crescente uso das TICs no ensino e



suas imensas possibilidades, que podem e devem ser exploradas em futuras pesquisas na área de Educação Química.

Referências

ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. São Paulo: Bookman, 2004.

AGUIAR, L. K. *Simulações interativas no ensino de química: uma experiência sobre os estados de agregação da matéria*. 2016. 38 f. TCC (Especialização em Educação na Cultura Digital). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ADAMS, W. K. Student engagement and learning with PhET interactive simulations. *Italian Physical Society, Bolonha*, v. 33, n. 3, p. 21-32, 2010.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educativa: um ponto de vista cognoscitivo*. Vol. 2. México: Trillas, 1982.

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Paralelo Editora, 2002.

ALONSO, P.; GARCÍA, J.; PÉREZ, R. O uso de simuladores de Física na educação: novas possibilidades para a aprendizagem de conceitos em Química. *Revista Brasileira de Educação em Ciências*, v. 28, n. 3, p. 45-58, 2021.

BAYER, A.; SMITH, L.; KELLY, P. Integrando simuladores em plataformas colaborativas: um estudo sobre as vantagens de recursos multimídia no ensino de Ciências. *Journal of Educational Technology*, v. 14, n. 2, p. 112-125, 2022.

BRASIL. MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília, 2000.

BRASIL. MEC. Secretaria de Educação Fundamental. *Referencial Curricular Nacional para a Educação Infantil*. Brasília, 1998.

CORREIA, A. P. et al. The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: secondary school student's perceptions. *Research in Science & Technological Education*, Londres, v. 37, n. 2, p. 193-217, 2018.

DUNCAN, D.; GARCÍA, M.; HERNÁNDEZ, F. Simuladores de Física no ensino de termodinâmica: uma análise de impacto no desempenho dos alunos. *Physics Education Review*, v. 29, p. 38-48, 2018.

GALIAZZI, M. C. *Análise textual discursiva: processo construído de múltiplas faces*. Ciência e Educação, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

HEW, K. F.; WONG, A. Investigando a eficácia dos simuladores PhET em várias escolas: um estudo de



caso. *Journal of Science Education and Technology*, v. 29, p. 601-613, 2020.

KOZMA, R.; RUSSEL, J. Simuladores como ferramenta didática no ensino de Química: visualizando interações atômicas e moleculares. *International Journal of Science Education*, v. 39, n. 7, p. 945-962, 2017.

LIMA, D. F. A importância da sequência didática como metodologia no ensino da disciplina de física moderna no Ensino Médio. *Revista Triângulo*, v. 11, n. 1, p. 151-162, 2018.

MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRÍGUEZ, M. L. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*, Burgos, Espanha, 1997, p. 19-44.

MOREIRA, M. A. O que é a aprendizagem significativa? *Curriculum: Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa*, La Laguna, Espanha, n. 25, p. 29-56, mar. 2012.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

PHET, COLORADO. Geometria Molecular. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/build-a-molecule. Acesso em: 20 out. 2023.

PERKINS, K. K.; MOORE, E. B.; CHASTEEN, S. V. Examining the Use of PhET Interactive Simulations in US College and High School Classrooms. Artigo apresentado na Physics Education Research Conference 2014, Minneapolis, MN. Disponível em: <https://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=13484&DocID=4083>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SIQUEIRA, M.; SANTANA, J.; DE, F. Utilização do software PhET Simulation como ferramenta de ensino em aulas de físico-química do curso de licenciatura em Química. III Congresso Internacional das Licenciaturas COINTER, 2016. DOI: 10.31692/2358-9728.IIICOINTERPDVL.2016.00117.

SUASSUNA, L. Pesquisa qualitativa em educação e linguagem: histórico e validação do paradigma indiciário. *Revista Perspectiva*, Florianópolis, v. 26, n. 1, p. 341-377, jan./jun. 2008.

TAJRA, S. F. *A Informática na Educação: novas ferramentas pedagógicas para o professor na atualidade*. 9. ed. São Paulo: Érica, 2012.

TAROUCO, L. M. R.; FLÔRES, M. L. P. Diferentes tipos de objetos para suportar a aprendizagem. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 1-10, jul. 2008.

ZARA, R. A. Reflexão sobre a eficácia do uso de um ambiente virtual no ensino de Física. II ENINED - Encontro Nacional de Informática e Educação, 2011.

ZABALA, Antoni. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.